

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
30. September 2004 (30.09.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/083570 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation?: **E04H 15/20**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2004/000072

(22) Internationales Anmeldedatum:  
9. Februar 2004 (09.02.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
494/03 21. März 2003 (21.03.2003) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): **PROSPECTIVE CONCEPTS AG** [CH/CH];  
Flughofstrasse 41, CH-8152 Glattpfaffikon (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FUCHS, Fritz**  
[CH/CH]; Herracherweg 65, CH-8610 Uster (CH).

(74) Anwalt: **SALGO, Reinhold, C.**; Rütistrasse 103,  
CH-8636 Wald (CH).

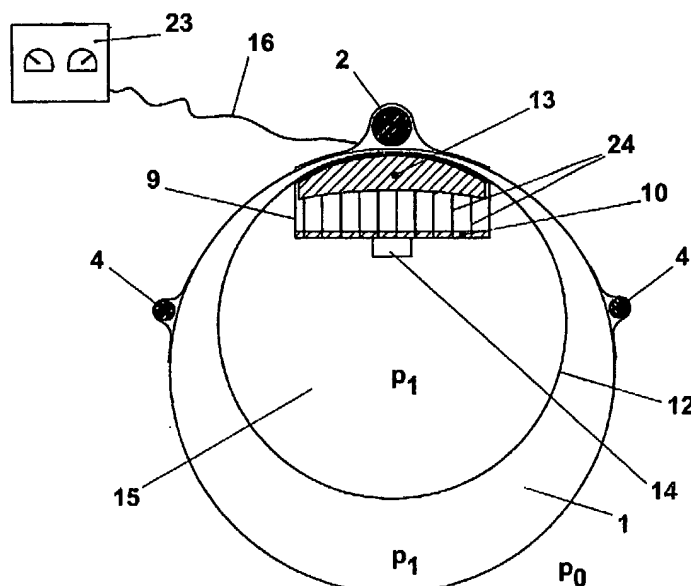
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), curasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **ELECTRICALLY VARIABLE PNEUMATIC STRUCTURAL ELEMENT**

(54) Bezeichnung: **ELEKTRISCH VARIABLES PNEUMATISCHES BAUELEMENT**



(57) Abstract: The internal pressure  $p_i$  of the hollow body of a pneumatic structural element that comprises a hollow body (1), at least two traction elements (4) and at least one compression member (2) can be electrothermally varied by means of a fluid. The hollow body (1) houses a void (12) which is filled with a gas (15), and a container (9) which contains a volatile liquid (10). Said liquid (10) can be heated or cooled by means of a heat pump (13). Said heat pump (13) thermally contacts the liquid (10) via lamellas (24). A pressure sensor (14) measures the pressure inside the void (12). A cable (16) links the sensor (14) and the heat pump (13) with control and regulating electronics (23).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/083570 A1



TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

**(57) Zusammenfassung:** Der Hohlkörperinnendruck  $P_1$  eines pneumatischen Bauelementes bestehend aus einem Hohlkörper (1) mindestens zwei Zugelementen (4) und mindestens einem Druckstab (2) kann elektrothermisch fluidverstärkt variiert werden. Im Hohlkörper (1) befindet sich eine Blase (12), ein Gas (15) enthaltend, und ein Behälter (9), welcher eine volatile Flüssigkeit (10) enthält. Die Flüssigkeit (10) kann mittels einer Wärmepumpe (13) geheizt oder gekühlt werden. Die Wärmepumpe (13) steht mittels Lamellen (24) thermisch mit der Flüssigkeit (10) in Kontakt. Ein Drucksensor (14) misst den Druck in der Blase (12). Ein Kabel (16) verbindet den Sensor (14) und die Wärmepumpe (13) mit einer Steuer- und Regelelektronik (23).

S/pats

JC20 Rec'd PCT/PTO 1 5 SEP 2009

**Elektrisch variables pneumatisches Bauelement**

Die vorliegende Erfindung betrifft Mittel zur Veränderung der Betriebsparameter eines pneumatischen Bauelementes in der Form eines langgestreckten luftdichten Hohlkörpers mit mindestens einem auf der Lastseite längs des Hohlkörpers verlaufenden Druckstab und mindestens zwei in gegenläufigem Schraubungssinne um den Hohlkörper gespannten Zugbändern. Dabei beginnen bzw. enden die Zugbänder an Knotenelementen, welche an den Enden des mindestens einen Druckstabes angeordnet sind, und umschlingen den Hohlkörper je mindestens einmal.

Solche pneumatische Bauelemente sind an sich bekannt, beispielsweise aus WO 01/73245 (D1).

Dabei besteht das pneumatische Bauelement aus einem beispielsweise textilarmierten flexiblen gasdichten Hohlkörper. An diesem ist auf der Aussenseite mindestens ein längs einer Mantellinie verlaufender Druckstab so angeordnet, dass er nicht ausknicken kann. An den Enden dieses Druckstabes sind zwei Zugbänder befestigt, welche den im Wesentlichen rohrförmigen Hohlkörper in gegenläufigem Schraubungssinne einmal umschlingen und einander auf einer Mantellinie des Hohlkörpers, welche jener des Druckstabes gegenüberliegt, auf der halben Länge des Hohlkörpers überkreuzen. Die Stellen, wo der Druckstab mit den Zugbändern verbunden ist, sind Knoten, in welche auch die Auflagekräfte eingeleitet werden. Damit werden in das pneumatische Bauelement keine Biegemomente eingeführt ausser jenen, die aus der Nutzlast - und dem Gewicht - des pneumatischen Bauelementes herrühren.

Das in D1 offenbarte pneumatische Bauelement weist verschiedene, sich im Betrieb äussernde Nachteile auf: Das Bauelement oder eine Kombination mehrerer Bauelemente wird beim Aufbau über ein oder mehrere Ventile mit Druckluft beaufschlagt und behält anschliessend die beaufschlagte Druckluftmenge bei. Die drei wesentlichen Betriebsparameter des Elementes, nämlich der Druck im Hohlkörper, die Zugspannung in den Zuelementen und die Druckspannung im Druckstab, sind definiert durch die Geometrie der Einzelteile und durch den anfänglich gewählten Betriebsdruck im Hohlkörper.

Mit Ausnahme des Druckes in den Hohlkörpern, sofern er über Ventile und Druckleitungen während des ganzen Betriebes geregelt wird, bleiben die Grössen beim unbelasteten Bauelement unverändert und können nicht an besondere Betriebszustände angepasst werden. Die Regelung des Druckes mittels zentraler Druckerzeugung und Verteilung zu den Bauelementen ist aufwändig und teuer. Die Druckleitungen welche zu jedem Bauelement führen müssen, können zudem einen schnellen und unkomplizierten Aufbau grösserer Strukturen, bestehend aus den genannten pneumatischen Bauelementen, erschweren.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in der Schaffung von pneumatischen Bauelementen mit Zug- und Druckelementen, deren Betriebsparameter Hohlkörperüberdruck und Zug- und Druckelementspannung auf einfache Weise entweder einzeln oder simultan variiert, kontrolliert und geregelt werden können. Eine derartige Kontrollvorrichtung ist sehr vorteilhaft, um beispielsweise durch Temperaturschwankungen hervorgerufene Druckveränderungen auszugleichen; sie ermöglicht eine selbsttätige Sicherheits-, Energie-, Vibrations- und Formkontrolle von Bauteilen und macht aus dem pneumatischen Bauelement eine intelligente, adaptive Struktur, welche sinnreich den aufgrund von veränderlichen Betriebsparametern wechselnden Umständen angepasst werden kann.

Die Lösung der Aufgabe ist wiedergegeben im kennzeichnenden Teil des Anspruches 1 hinsichtlich ihrer wesentlichen Merkmale, in den weiteren Ansprüchen hinsichtlich ergänzender vorteilhafter Ausbildungen.

Anhand der beigefügten Zeichnungen wird der Erfindungsgegenstand anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Es zeigen  
Fig. 1a,b schematische Darstellungen eines pneumatischen Bauelementes gemäss dem Stande der Technik in Seitenansicht und in einer Isometrie,

- Fig. 2a,b schematische Darstellungen eines ersten Ausführungsbeispiels mit erhöhtem Hohlkörperinnendruck im Quer- und Längsschnitt,
- 5 Fig. 3a,b schematische Darstellungen eines ersten Ausführungsbeispiels mit erniedrigtem Hohlkörperinnendruck im Quer- und Längsschnitt,
- 10 Fig. 4a,b,c schematische Darstellungen eines zweiten Ausführungsbeispiels mit variierbarer Druckstab- und Zugelementlänge mit passiven und aktivierten Aktoren,
- 15 Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Druckstabes mit integriertem piezoelektrischem Stapelaktor im Längsschnitt,
- 20 Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Zugbandes mit integriertem elektrostrikktivem Polymeraktor im Längsschnitt.

Fig. 1a,b sind schematische Darstellungen eines Ausführungsbeispiels gemäss dem aktuellen Stande der Technik (D1). Fig. 1a zeigt es in Seitenansicht und Fig. 1b in isometrischer Darstellung. Das gezeigte pneumatische Bauelement besteht aus einem langgestreckten, im Wesentlichen zylindrischen mit Druckluft beaufschlagten Hohlkörper 1 der Länge L und mit einer Längsachse A, welcher aus einem flexiblen und luftdichten Material gefertigt ist. Auf seiner Oberseite ist ein auf axiale Kräfte beanspruchbarer Druckstab 2 angebracht. Dessen Enden sind als Knoten 3 ausgestaltet, an denen je zwei Zugelemente 4 befestigt sind. Die axialen Enden des Hohlkörpers 1 tragen je eine Kappe 5; beispielsweise eine dieser Kappen 5 ist mit einem Ventil 6 zur Be- und Entlüftung des Hohlkörpers ausgerüstet.

Die zwei Zugelemente 4 umschlingen den Hohlkörper 1 schraubenförmig in entgegengesetztem Umlaufssinne beispielsweise je einmal mit konstanter Ganghöhe. Daher überschneiden sie ein-

ander an einer Stelle 8 in der Mitte einer dem Druckstab 2 gegenüberliegenden Mantellinie 7. Druckstab 2 und Mantellinie 7 liegen beide in einer Symmetrieebene  $E_s$ , welche ebenfalls die mit A bezeichnete Längsachse des Hohlkörpers 1 enthält.

5 Fig. 2a zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer elektrophysikalischen fluidverstärkten Kontrollvorrichtung für den Innendruck des Hohlkörpers 1 im Querschnitt, Fig. 2b im Längsschnitt. Im Innern des Hohlkörpers 1 ist eine flexible oder elastische gasdichte Blase 12 angebracht. Diese Blase 12 ent-  
10 hält einen Behälter 9, mit einer volatilen Flüssigkeit 10 (z. B. FCKW). Die Flüssigkeit 10 steht mit ihrer Gasphase 15 im Gleichgewicht. Die Wahl der Flüssigkeit 10 richtet sich nach der Betriebstemperatur, bei welcher das Bauelement betrieben wird. Ihr Siedepunkt ist mit Vorteil im Bereich von dessen  
15 Betriebstemperatur. Der Behälter 9 ist mittels einer Öffnung 11 mit dem Innenraum der Blase 12 verbunden.

Im Behälter 9 integriert ist weiter eine elektrische Wärmepumpe 13 mit umkehrbarer Wärmestromrichtung, z.B. ein Peltierelement, deren eine Seite mit der Flüssigkeit 10 beispielsweise mittels Lamellen 24 thermisch in Kontakt steht  
20 und deren andere Seite Wärme ausserhalb der Blase 12 aufnehmen oder sie dorthin abgeben kann. Je nach Richtung des Wärmestroms der Wärmepumpe 13 kann die Flüssigkeit 10 geheizt oder gekühlt werden. Wird die Flüssigkeit 10 erwärmt und auf  
25 diese Weise zum Verdampfen gebracht, so resultiert aus dem Phasenwechsel der Flüssigkeit 10 von flüssig zu gasförmig eine Volumenausdehnung dieses Stoffes um das Mehrhundertfache, was in einem begrenzten Volumen mit einer Druckzunahme einhergeht. Bei Abkühlung des Gases 15 unter den Siedepunkt kondensiert es, was wiederum zu einer Druck- und Volumenabnahme  
30 führt.

Mindestens ein elektrischer Drucksensor 14 dient der Druckmessung des Druckes  $p_1$ , der normalerweise sowohl in der Blase 12 und dem Behälter 9 als auch im Hohlkörper 1 herrscht. Um  
35 ein Leck und einen damit verbundenen Druckabfall im Hohlkörper 1 zu erkennen, kann ein zweiter Drucksensor 14 im Hohlkörper 1 aber ausserhalb der Blase 12 angebracht werden. Viele mögliche Ausführungen solcher Drucksensoren sind dem Fach-

mann bekannt und werden daher an dieser Stelle nicht näher erläutert. Ein Kabel 16 führt den Strom zur Wärmepumpe 13 und leitet die Messsignale des mindestens einen Drucksensors 14 zu einer programmierbaren Steuer- und Regelelektronik 23, 5 welche den Druck  $p_1$ , beispielsweise bei Temperaturschwankungen, konstant halten oder auf andere Art und Weise verändern kann.

Die Erhöhung des Druckes im Hohlkörper 1 führt gleichzeitig zu einer Erhöhung der Zugspannung in den Zugelementen 4 und 10 zu einer Erhöhung der Druckspannung im Druckstab 2.

Die Konstruktion der Blase 12 wird so ausgeführt und die Menge  $n$  der Flüssigkeit 10 so bemessen, dass bei einer Maximaltemperatur  $T_{\max}$  und einem Maximalvolumen  $V_{\max}$  die Blase 12 dem entstehenden Druck  $p_{1\max}$ , welcher für ein ideales Gas 15  $(nRT_{\max})/V_{\max}$  beträgt, standhält, und das Gas 15 und die Flüssigkeit 10 nicht entweichen können. Um dem Bersten des Hohlkörpers 1 vorzubeugen, ist dieser beispielsweise mit einem Überdruckventil 25 versehen, oder es muss sichergestellt sein, dass der Hohlkörper 1 bei ausgeschalteter, nicht kühlender Wärmepumpe 13 und Maximaltemperatur  $T_{\max}$  dem entstehenden Maximaldruck standhält. Um den Wärmeaustausch zwischen der Umgebung und dem geheizten oder gekühlten System bestehend aus Behälter 9 und Blase 12 zu verlangsamen und so die benötigte Leistung für die Wärmepumpe 13 zu reduzieren, kann 20 die Blase 12 thermisch isoliert werden.

Fig. 3a,b zeigen das erste Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2a,b in einem Zustand, mit nahezu vollständig kondensierter 30 volatiler Flüssigkeit 10 und im Wesentlichen geleerter, zusammengefallener, schlaffer Blase 12. Der Druck  $p_2$  im Hohlkörper 1 und in der Blase 12 ist kleiner als der Druck  $p_1$ . In Fig. 3a ist ein Querschnitt und in Fig. 3b ein Längsschnitt dargestellt.

Ähnliche elektrothermische Kontrollvorrichtungen sind zum Beispiel aus WO 01/53902 (D2) bekannt, wo die durch den Phasenwechsel entstehende Druckdifferenz zum Öffnen und Schliessen eines Ventils genutzt wird. 35

Fig. 4a,b,c zeigen Seitenansichten eines zweiten Ausführungsbeispiels eines elektrisch variablen pneumatischen Bauelemen-

tes, bei dem Länge und Spannung der Zugelemente 4 und des Druckstabes 2 veränderbar sind. In Fig. 4a ist das zweite Ausführungsbeispiel eines elektrisch variablen Bauelementes im passiven Zustand dargestellt, das heisst, die Längen und Spannungen von Druckstab 2 und Zugelementen 4 sind nicht elektrisch verändert. Fig. 4b und c zeigen schematisch und stark überhöht die Veränderung des Bauelementes bei aktiver Verlängerung des Druckstabes 2, in Fig. 4b, und bei Verkürzung der Zugelemente 4, in Fig. 4c. Die Kontrolle dieser Teile erfolgt elektrisch mittels elektroaktiver Keramiken (EAC) für den Druckstab 2 oder elektroaktiver Polymere (EAP) für die Zugelemente 4. Die genutzten physikalischen Effekte sind Piezoelektrizität und Elektrostriktion. Ein Beispiel für eine EAC ist Bleizirkonattitanat (PZT) und für einen EAP Polyvinyliden-Difluorid (PVDF). Auf dem Gebiet piezoelektrischer und elektrostriktiver Materialien und Aktoren wird intensiv geforscht und dem Fachmann ist es möglich, geeignete EAC für den Druckstab und EAP für die Zugelemente zu wählen, zu Stapeln oder zu Bündeln, eventuell vorzuspannen und mit anderen Materialien in Verbundbauweise zu kombinieren.

Der Vorteil der obenerwähnten elektrischen Aktoren liegt im Vergleich zu elektromagnetischen Aktoren darin, dass sie keine bewegten Teile haben und daher kaum Verschleisserscheinungen auftreten. Das Material selbst verformt sich.

Um eine Rückmeldung über den Spannungszustand des Druckstabes 2 oder der Zugelemente 4 an die Regelelektronik zu erhalten, werden Druckstab 2 und Zugelemente 4 zusätzlich zu den Aktoren mit Sensoren versehen. Dies können z.B. Widerstands-, Dehnungsmessstreifen oder andere elektrische Längen- oder Spannungssensoren sein oder es werden intelligente Aktoren eingesetzt. Solche bestehen aus Material mit gleichzeitig aktorischem und sensorischem Verhalten, was prinzipiell auf alle piezoelektrischen Materialien zutrifft.

Druckstäbe mit z.B. EAC Stapelaktoren und Zugbänder mit z.B. aramidarmierten PVDF-Aktorbündeln in der Art künstlicher Muskeln ermöglichen zur Zeit relative Längenänderungen im Prozentbereich und die erzeugte Spannung liegt momentan im Bereich von 50 bis 100 MPa. Im Vergleich zu den relativ grossen

Druckänderungen, die mittels elektrothermischer fluidverstärkter Aktoren im Hohlkörper 1 erreicht werden, sind die Variationsmöglichkeiten in Druckstab 2 und Zugelementen 4 kleiner. Die Reaktionszeit für eine Druckänderung im Hohlkörper 1 ist verhältnismässig lang und die Druckregelung verhält sich dementsprechend träge, während elektroaktive Aktoren sehr schnell agieren können.

Dies ergibt unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten für die verschiedenen Kontrollvorrichtungen. Die Druckkontrolle bezweckt die Erhaltung eines konstanten Druckes und somit gleichbleibender Spannung des Bauelementes. Dazu genügt eine Adaption mit Reaktionszeiten im Bereich von Minuten.

Durch Temperaturschwankungen im Tagesverlauf oder durch Sonneneinstrahlung verursachte Druckschwankungen können auf diese Weise kompensiert werden.

Die elektroaktive Spannungskontrolle von Druckstab und Zugelementen bietet sich hingegen zur Vibrationsdämpfung und insbesondere auch zur Überwachung des Bauelementes an.

Zur Dämpfung von z.B. durch Wind bewirkten Schwingungen des Bauelementes werden die Aktoren beispielsweise in Gegenphase zum elektrischen Signal der Sensoren betrieben. Mit den Sensoren in Druckstab und Zugbändern ist eine genaue Bestimmung des Belastungszustandes des Bauelementes möglich. Fehlfunktionen oder Annäherung an Belastungsgrenzen können unverzüglich registriert werden. Denkbar ist des Weiteren auch das Zusammenfügen derartiger elektrisch variabler Bauelemente zu einer schallsensitiven Struktur, bei sensorischer Nutzung, oder einer schallerzeugenden, bei aktorischer Nutzung.

Um grössere Stellwege für die Längenänderung in Druckstab und Zugelementen zu ermöglichen, ist der Einsatz von piezoelektrischen Linearmotoren denkbar und entspricht dem erfinderischen Gedanken.

Werden bei Ausführungen des Bauelementes mit mehreren Druckstäben 2 diese nicht gleichsinnig verändert, so können Biegemomente in verschiedene Richtungen erzeugt werden.

Fig. 5 zeigt ein mögliches Ausführungsbeispiels eines elektrisch variablen Druckstabes 2, der teilweise aus einem Stapelaktor 17 aus EAC besteht. Die Längenänderung, je nach Po-

lung Verlängerung oder Verkürzung, der einzelnen Aktorelemente 18 summieren sich zur Gesamtlängenänderung des Stapelaktors 17. An die Aktorelemente 18 wird alternierend positive und negative Spannung angelegt, so dass in ihnen abwechselnd  
5 einander entgegengesetzte elektrische Felder  $E$  in der Achse des Druckstabes 2 entstehen. Der piezoelektrische Effekt führt zur Ausdehnung oder zur Verkürzung der Aktuatorelemente 18 in Feld- und Achsrichtung. Im Druckstab 2 integriert ist zudem ein beispielsweise piezoelektrischer oder piezoresistiver Spannungssensor 19. Ein Kabel 16, Stromversorgung und Datenleitung enthaltend, verbindet Sensor und Aktor mit der Regelelektronik 23, welche ein einzelnes oder einen Verbund von pneumatischen Bauelementen überwacht, steuert oder regelt. Eine solche Regelelektronik ist Stand der Technik und wird  
15 hier daher nicht näher erläutert.

In Fig. 6 dargestellt ist ein Längsschnitt durch ein mögliches Ausführungsbeispiel eines Zugelementes 4 mit integriertem elektrostriktivem mehrschichtigem Aktor. Auf einer dehnungsarmen Trägerschicht 20, z.B. einem aramidverstärkten  
20 Band, sind über einen Teil oder die ganze Länge des Zugelementes 4 mehrere elektrostriktive Polymerschichten 21 aufgebracht, getrennt und eingefasst durch elektrisch leitende Leiterschichten 22. Die Leiterschichten 22 können alternierend positiv und negativ unter Spannung gesetzt werden und  
25 erzeugen so in den dazwischenliegenden elektrostriktiven Polymerschichten 21 elektrische Felder  $E$  quer zum Zugelement 4. Die Polymerschichten 21 dehnen sich bei angelegter Spannung in Richtung des elektrischen Feldes aus. Die Querschnittsfläche des Zugelementes 4 vergrößert sich und seine Länge ver-  
30 kürzt sich aufgrund der Volumenerhaltung.

**Patentansprüche**

1. Pneumatisches Bauelement
  - 5       - mit einem luftdichten und durch Druckluft beaufschlagbaren langgestreckten Hohlkörper (1) aus flexiblem Material,
  - mit mindestens einem Druckstab (2), der längs einer Mantellinie des Hohlkörpers (1) an diesem anliegt und gegen Verschieben und Ausknicken gesichert ist, ferner
  - 10       - mit mindestens einem Paar von Zuelementen (4), die an den beiden Enden des mindestens einen Druckstabes (2) befestigt sind, zu welchem Zweck der Druckstab (2) an jedem Ende einen Knoten (3) aufweist zur gegenseitigen kraftschlüssigen Befestigung von Druckstab (2) und Zuelementen (4) und zur Aufnahme von Auflagerkräften, wobei des Weiteren die mindestens zwei Zuelemente (4) mit mindestens einem Umgang schraubenförmig gegenläufig um den Hohlkörper (1) herumgelegt sind und einander auf eine dem Druckstab (2) gegenüberliegenden Mantellinie
  - 15       (7) des Hohlkörpers (1) überschneiden, dadurch gekennzeichnet, dass
  - Mittel integriert sind, mittels welchen mindestens einer der Betriebsparameter Druck im Hohlkörper (1), Länge des Druckstabes (2) oder Länge der Zuelemente (4)
  - 20       elektrisch verändert werden können.
  - 25
2. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- 30       - Mittel integriert sind, mittels welcher der Druck  $p_1$  im Hohlkörper (1) elektrisch verändert werden kann.
3. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
- 35       - der Hohlkörper (1) in seinem Innern eine gasdichte flexible Blase (12) mit geringerem Volumen als demjenigen des Hohlkörpers (1) aufweist,

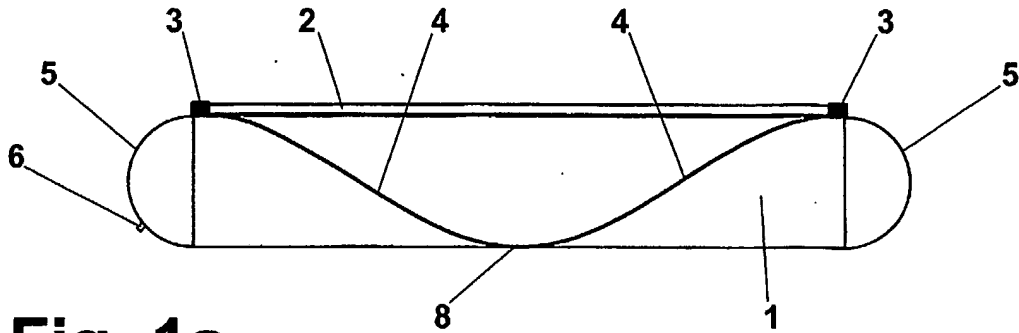
-10-

- innerhalb der Blase (12) ein Behälter (9) angebracht ist, der eine volatile Flüssigkeit (10) enthält,
  - eine Wärmepumpe (13) mit umkehrbarer Wärmestromrichtung vorhanden ist, mittels welcher die Flüssigkeit (10) ge-  
5 heizt und gekühlt werden kann, und deren eine Seite thermisch mit der Flüssigkeit (10) in Kontakt steht und deren andere Seite mit dem Aussenraum ausserhalb der Blase (12) Wärme austauschen kann,
  - die Druckveränderung elektrothermisch fluidverstärkt  
10 herbeigeführt werden kann.
4. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass
- sich mindestens ein elektrischer Gasdrucksensor (14)  
15 innerhalb der Blase (12) befindet.
5. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Blase (12) aus flexiblem, dehnungsarmem Material  
20 gefertigt ist.
6. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Blase (12) aus elastischem Material gefertigt ist.  
25
7. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Druckstab (2) Mittel enthält zu seiner elektrischen  
30 Längenänderung.
8. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Mittel zur Bewirkung der Längenänderung des Druck-  
stabes (2) aus mindestens einem auf elektroaktiver Ke-  
35 ramik (EAC) basierenden Aktor bestehen.

-11-

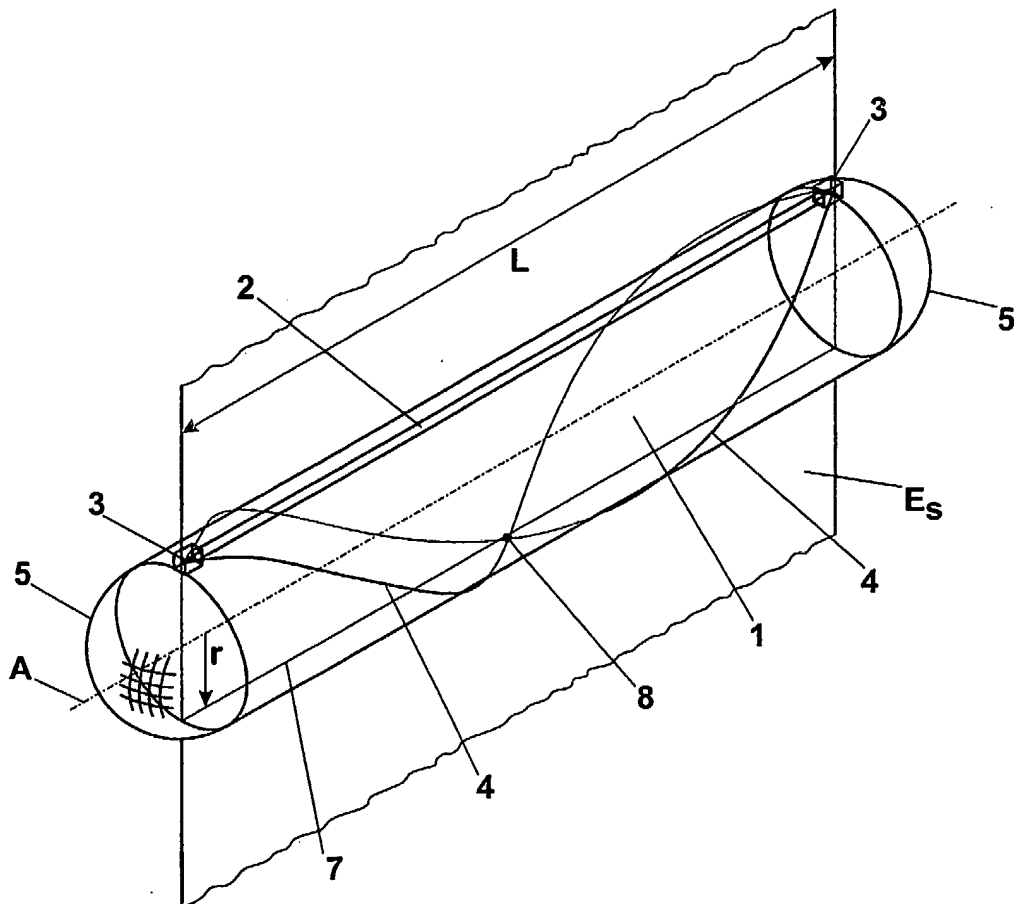
9. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass
- es sich beim mindestens einen verwendeten EAC-Aktor um einen Stapelaktor (17) handelt, also einer Aneinanderreihung mehrerer EAC-Aktoren (18).
- 5
10. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- das Zugelement (4) Mittel enthält zu seiner elektrischen Längenänderung.
- 10
11. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Mittel zur Bewirkung der Längenänderung des Zugelementes (4) aus mindestens einem auf elektroaktiven Polymeren (EAP) basierenden Aktor bestehen.
- 15
12. Pneumatisches Bauelement nach Patentanspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass
- der mindestens eine Aktor aus mehrschichtigen EAP besteht.
- 20
13. Pneumatisches Bauelement nach einem der Patentansprüche 7 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Mittel zur elektrischen Längenänderung von Druckstab (2) und Zugelementen (4) piezoelektrische Linearomotoren sind.
- 25
14. Pneumatisches Bauelement nach einem der Patentansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass
- mindestens ein Sensor zur Messung der Längenänderung des Druckstabes (2) und der Zugelemente (4) vorhanden ist.
- 30

15. Pneumatisches Bauelement nach einem der Patentansprüche 4 bis 6 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass
- eine elektrische Steuer- und Regelvorrichtung (23) vorhanden ist, welche mit den Sensoren und Aktoren des Bauelementes verbunden ist, und mit Hilfe derer die Betriebsparameter des Bauelementes überwacht und verändert werden können.
16. Pneumatisches Bauelement nach einem der Patentansprüche 2 bis 6 und 7 bis 9 dadurch gekennzeichnet, dass
- gleichzeitig Mittel zur Änderung des Druckes  $p_1$  im Hohlkörper (1) und Mittel zur elektrischen Längenänderung des Druckstabes (2) vorhanden sind.
17. Pneumatisches Bauelement nach einem der Patentansprüche 2 bis 6 und 10 bis 12 dadurch gekennzeichnet, dass
- gleichzeitig Mittel zur Änderung des Druckes  $p_1$  im Hohlkörper (1) und Mittel zur elektrischen Längenänderung der Zuelemente (4) vorhanden sind.
18. Pneumatisches Bauelement nach einem der Patentansprüche 2 bis 6 und 7 bis 9 und 10 bis 12 dadurch gekennzeichnet, dass
- gleichzeitig Mittel zur Änderung des Druckes  $p_1$  im Hohlkörper (1), Mittel zur elektrischen Längenänderung des Druckstabes (2) und Mittel zur elektrischen Längenänderung der Zuelemente (4) vorhanden sind.
19. Pneumatisches Bauelement nach einem der Patentansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Blase (12) eine thermische Isolation aufweist.
20. Pneumatisches Bauelement nach einem der Patentansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Wärmepumpe (13) ein Peltierelement ist.



**Fig. 1a**

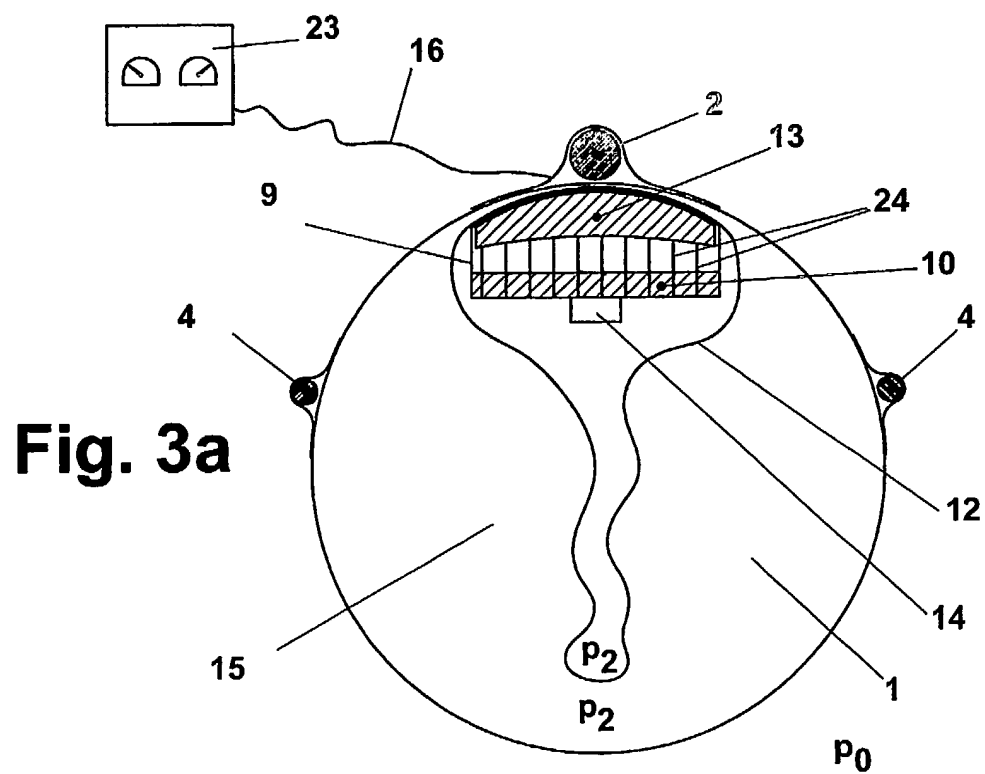
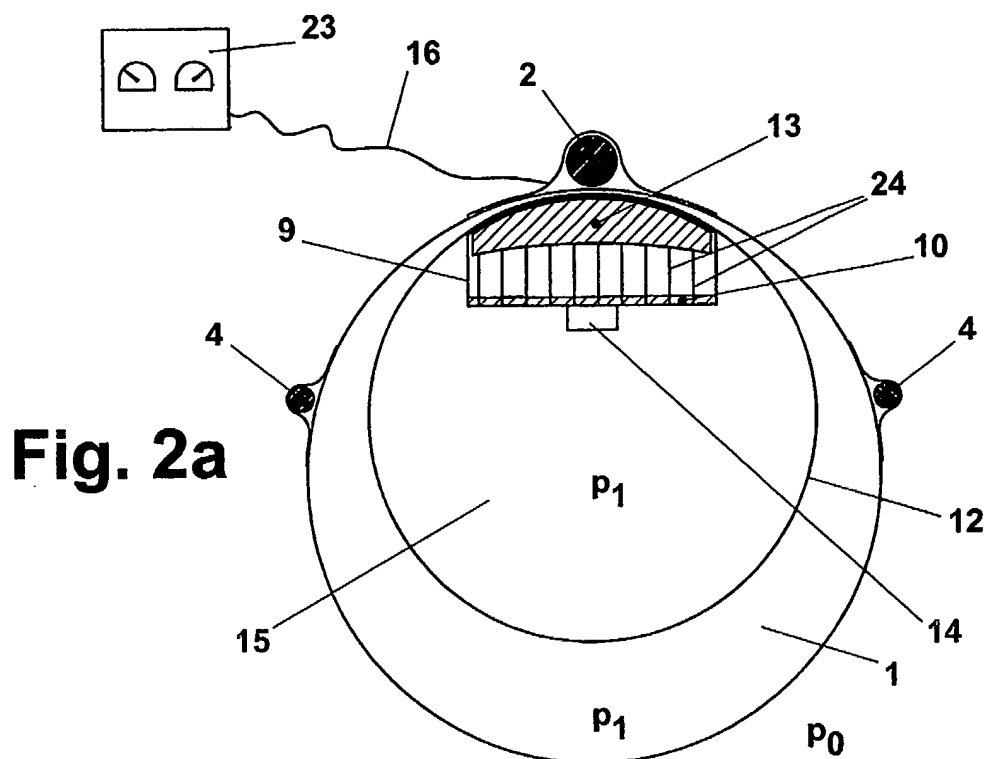
Stand der Technik



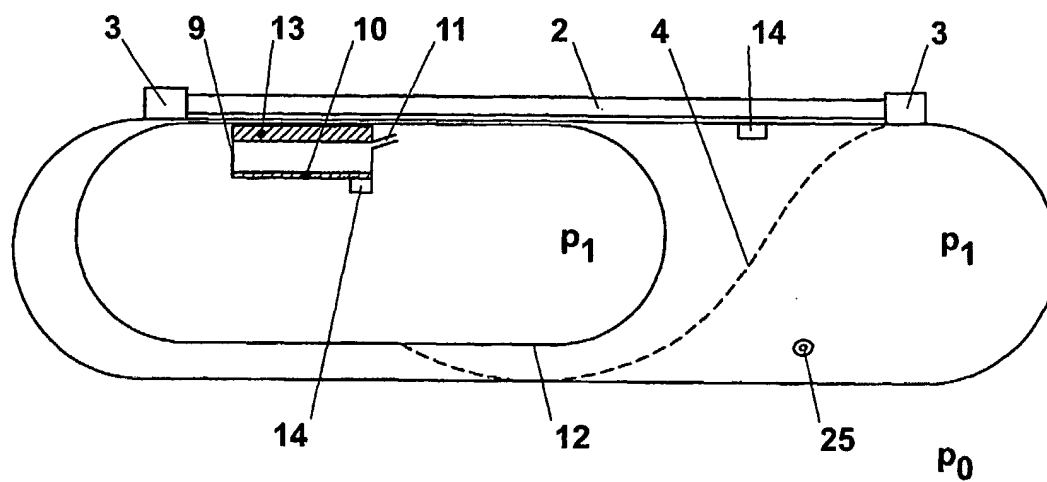
**Fig. 1b**

Stand der Technik

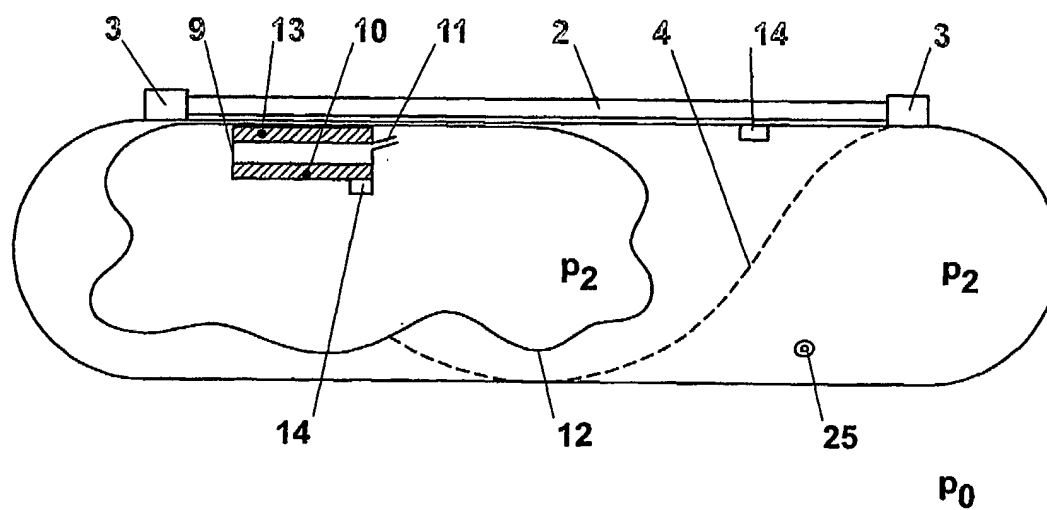
2/5



3/5

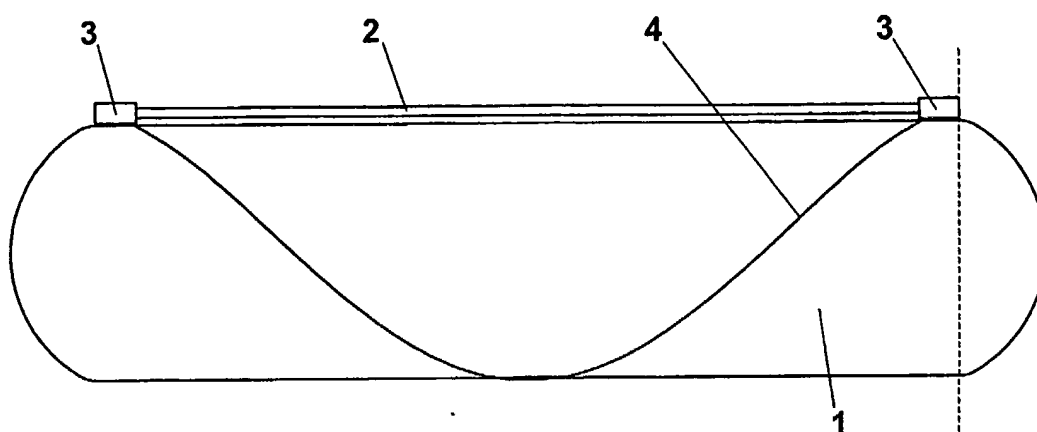


**Fig. 2b**

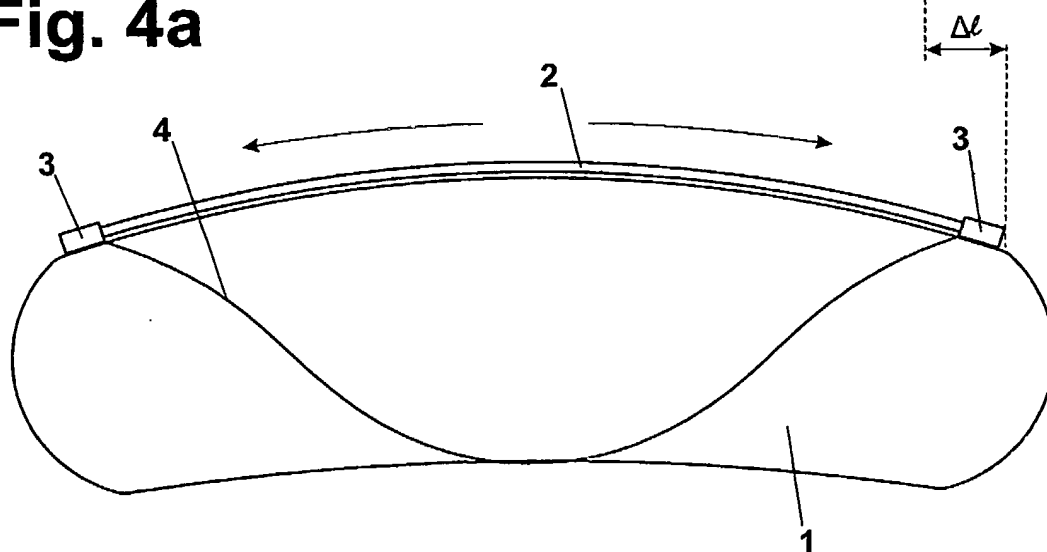


**Fig. 3b**

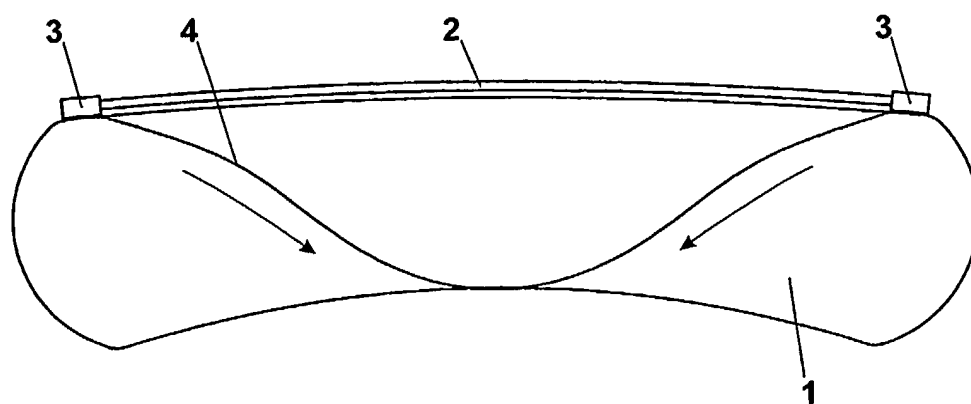
4/5



**Fig. 4a**



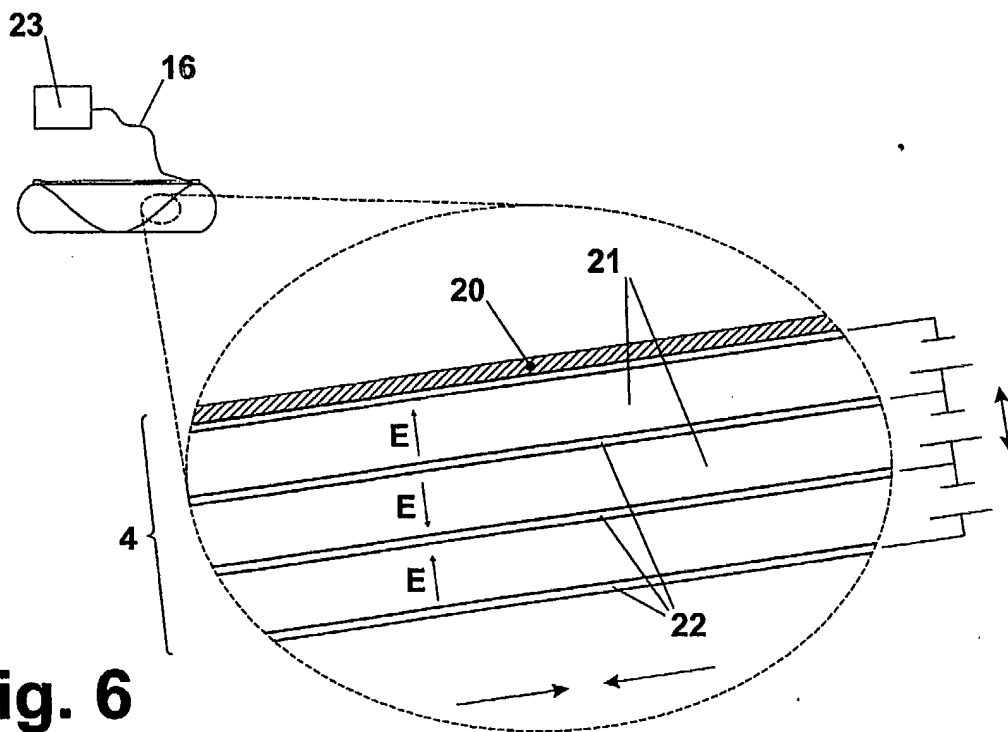
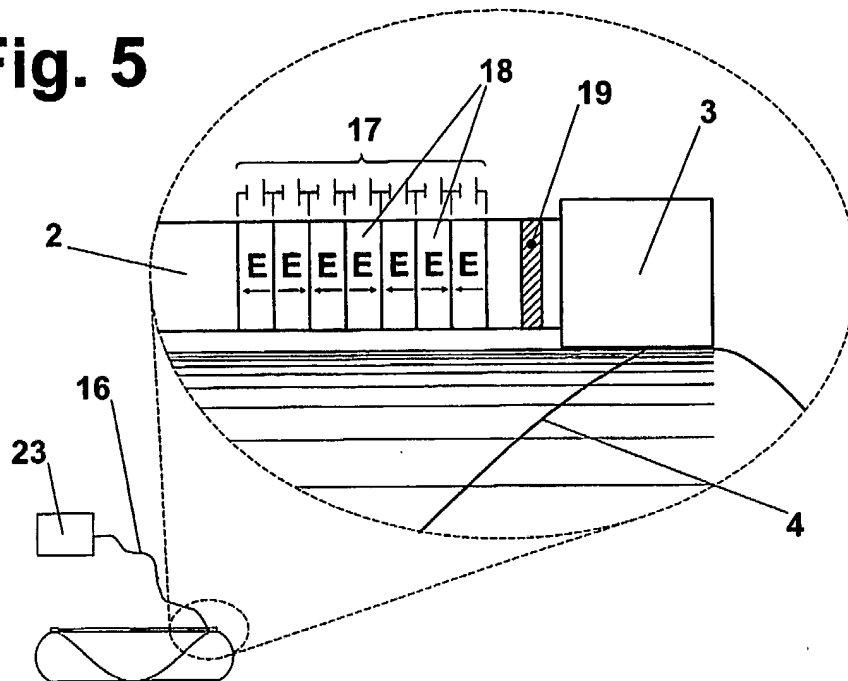
**Fig. 4b**



**Fig. 4c**

5/5

**Fig. 5**



**Fig. 6**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/CH2004/000072

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 E04H15/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 E04H E01D B64D B63B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 01/73245 A (PEDRETTI MAURO) 4 October 2001 (2001-10-04) cited in the application the whole document	1,2
Y	EP 0 494 053 A (EUROVINIL IND SPA) 8 July 1992 (1992-07-08) column 2, line 20 - line 26	1,2

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 April 2004

Date of mailing of the international search report

04/05/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Delzor, F

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International Application No  
PCT/CH2004/000072

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0173245	A	04-10-2001	AU 3147101 A	08-10-2001
			BR 0105386 A	26-02-2002
			CA 2374645 A1	04-10-2001
			WO 0173245 A1	04-10-2001
			CN 1365416 T	21-08-2002
			EP 1210489 A1	05-06-2002
			JP 2003529006 T	30-09-2003
			NZ 515020 A	25-10-2002
			US 2002157322 A1	31-10-2002
			ZA 200108237 A	12-06-2002
EP 0494053	A	08-07-1992	IT 1253090 B	10-07-1995
			IT 1241856 B	01-02-1994
			EP 0494053 A1	08-07-1992

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH2004/000072

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 E04H15/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 E04H E01D B64D B63B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 01/73245 A (PEDRETTI MAURO) 4. Oktober 2001 (2001-10-04) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	1,2
Y	EP 0 494 053 A (EUROVINIL IND SPA) 8. Juli 1992 (1992-07-08) Spalte 2, Zeile 20 - Zeile 26 -----	1,2

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22. April 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

04/05/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Delzor, F

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH2004/000072

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0173245	A	04-10-2001	AU	3147101 A	08-10-2001
			BR	0105386 A	26-02-2002
			CA	2374645 A1	04-10-2001
			WO	0173245 A1	04-10-2001
			CN	1365416 T	21-08-2002
			EP	1210489 A1	05-06-2002
			JP	2003529006 T	30-09-2003
			NZ	515020 A	25-10-2002
			US	2002157322 A1	31-10-2002
			ZA	200108237 A	12-06-2002
EP 0494053	A	08-07-1992	IT	1253090 B	10-07-1995
			IT	1241856 B	01-02-1994
			EP	0494053 A1	08-07-1992

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/CH2004/000072

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 E04H15/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 E04H E01D B64D B63B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 01/73245 A (PEDRETTI MAURO) 4 October 2001 (2001-10-04) cited in the application the whole document	1,2
Y	EP 0 494 053 A (EUROVINIL IND SPA) 8 July 1992 (1992-07-08) column 2, line 20 - line 26	1,2



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 April 2004

Date of mailing of the international search report

04/05/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Delzor, F

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International Application No  
PCT/CH2004/000072

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0173245	A	04-10-2001	AU 3147101 A	08-10-2001
			BR 0105386 A	26-02-2002
			CA 2374645 A1	04-10-2001
			WO 0173245 A1	04-10-2001
			CN 1365416 T	21-08-2002
			EP 1210489 A1	05-06-2002
			JP 2003529006 T	30-09-2003
			NZ 515020 A	25-10-2002
			US 2002157322 A1	31-10-2002
			ZA 200108237 A	12-06-2002
EP 0494053	A	08-07-1992	IT 1253090 B	10-07-1995
			IT 1241856 B	01-02-1994
			EP 0494053 A1	08-07-1992

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH2004/000072

## A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 E04H15/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 E04H E01D B64D B63B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 01/73245 A (PEDRETTI MAURO) 4. Oktober 2001 (2001-10-04) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	1,2
Y	EP 0 494 053 A (EUROVINIL IND SPA) 8. Juli 1992 (1992-07-08) Spalte 2, Zeile 20 - Zeile 26 -----	1,2



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"G" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

22. April 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

04/05/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Delzor, F

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH2004/000072

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0173245 A	04-10-2001	AU 3147101 A	08-10-2001
		BR 0105386 A	26-02-2002
		CA 2374645 A1	04-10-2001
		WO 0173245 A1	04-10-2001
		CN 1365416 T	21-08-2002
		EP 1210489 A1	05-06-2002
		JP 2003529006 T	30-09-2003
		NZ 515020 A	25-10-2002
		US 2002157322 A1	31-10-2002
		ZA 200108237 A	12-06-2002
EP 0494053 A	08-07-1992	IT 1253090 B	10-07-1995
		IT 1241856 B	01-02-1994
		EP 0494053 A1	08-07-1992

***This Page Blank (uspto)***